



FERTILIZACIÓN DE *Eucalyptus grandis* EN EL NE DE ENTRE RÍOS: RESULTADOS AL TURNO Y ALGUNAS IMPLICANCIAS PARA EL MANEJO DE LAS PLANTACIONES

Corina GRACIANO¹, Juan F. GOYA², Marcelo ARTURI², Sarah L. BURNS², Carolina PÉREZ²

Palabras clave: *nitrógeno, fósforo, rendimiento, volumen, DAP*

El sostenimiento de la productividad de las forestaciones intensamente manejadas requiere mantener la fertilidad del suelo en el largo plazo (O'Connell *et al.*, 2004). Los ciclos sucesivos de plantación y cosecha de especies de crecimiento rápido (tales como especies de los géneros *Populus*, *Eucalyptus* y *Pinus*) pueden disminuir la concentración de los nutrientes del suelo (Judd, 1996; Turner y Lambert, 1996). Luego de un turno de plantación tanto con *Eucalyptus grandis* como con *Pinus taeda* en la Mesopotamia, se han registrado disminuciones de las concentraciones de macronutrientes en el suelo, en especial nitrógeno y fósforo (Goya *et al.*, 1997b; Goya *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2006). La pérdida de nutrientes podría repercutir sobre las tasas de crecimiento de las rotaciones siguientes, haciendo necesaria la aplicación de fertilizantes para mantener los rendimientos.

Las plantaciones de *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda* se conducen en la Mesopotamia argentina mediante silvicultura semi-intensiva, con rotaciones cortas y elevada productividad (Luy *et al.*, 1997; Goya *et al.*, 1997b; Fernández *et al.*, 2000a; Fernández *et al.*, 2000b). La fertilización al inicio de la plantación es una práctica difundida en Entre Ríos y Corrientes (Carpinetti *et al.*, 1995; Dalla Tea y Marcó, 1996). La aplicación se realiza manualmente en uno o dos hoyos a 20-30 cm desde el cuello del árbol. Esta forma de aplicación localizada ha demostrado ser eficiente para incrementar el crecimiento de los individuos (Barros y Novais, 1996; Graciano *et al.*, 2009). Para que haya respuesta a la fertilización debe existir un balance entre la disponibilidad de nutrientes, especialmente N y P (Herbert, 1990; Dighton *et al.*, 1993; Graciano *et al.*, 2006). La aplicación de un nutriente puede determinar que otro se torne limitante, consecuentemente no se observará mayor crecimiento, e incluso puede observarse disminución de crecimiento (Marschner, 1995; Graciano *et al.*, 2009). Por ese motivo, no siempre que se fertiliza, se obtiene mayor crecimiento.

En algunos sistemas, la fertilización redundante en menor crecimiento, tal es el caso de *Pinus taeda* fertilizado con urea en Misiones (Fernández *et al.*, 2000a; Faustino *et al.*, 2011; Faustino *et al.*, 2012; Faustino *et al.*, 2013) o situaciones de cultivo de *Populus spp.* en la "Pampa Húmeda" (Achinelli *et al.*, 2003). Un motivo puede ser un desbalance nutricional, que torne severamente limitante un nutriente no aplicado. Es por eso que la respuesta a una dosis de fertilizante puede ser diferente según sea la disponibilidad de otros nutrientes, y por lo tanto es importante evaluar la aplicación conjunta de diferentes dosis de fertilizantes.

A continuación se presentarán los resultados al turno de un ensayo de fertilización de *Eucalyptus grandis*, en el que se aplicó nitrógeno (N) y fósforo (P) en dos dosis y sus combinaciones, en un suelo mestizo del NE de Entre Ríos. La fertilización se aplicó en dos situaciones de manejo luego de la cosecha de la plantación existente: replantación y manejo del rebrote.

1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y METODOLOGÍA

Se utilizó un lote sobre un suelo arenoso (conocido localmente como mestizo) (Dalla Tea y Marcó, 1996; Goya *et al.*, 1997a; Goya *et al.*, 1997b) ubicado en la Estancia Humaitá, NE del Departamento de Colón, Provincia de Entre Ríos, que sostuvo tres rotaciones de *Eucalyptus grandis*. Este suelo se caracteriza por tener baja disponibilidad de N (0,05%) y moderada de P (6ppm P Bray-Kurtz) (Graciano *et al.*, 2006).

¹ INFIVE ² LISEA - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Contacto: corinagraciono@agro.unlp.edu.ar



La fertilización se aplicó simultáneamente en árboles de tres meses recién plantados (replantación) y en cepas recientemente cosechadas, en las que se manejó el rebrote (rebrote). Los restos de la cosecha anterior fueron dejados en el lugar, y no se realizó quema. En cada situación de manejo se aplicaron 9 tratamientos de fertilización, distribuidos al azar en 4 bloques completos. Los 9 tratamientos derivaron de la combinación de 0 (N0), 60 (N1) y 120 (N2) g de urea (46-0-0) y 0 (P0), 60 (P1) y 120 (P2) g de superfosfato triple de calcio (0-46-0). La aplicación se realizó en dos orificios aproximadamente a 30 cm de la planta, que fueron tapados con suelo. Cada parcela consistió en 7 x 7 plantas, distanciadas 2,9m x 2,9 m. Se midieron las 25 plantas centrales de cada parcela. Se midió la altura total y el diámetro al cuello (DAC) un año luego de realizada la fertilización, y la altura y el diámetro a 1,3 m (DAP) a los 2, 5, 7 y 10 años luego de realizada la fertilización. Con los datos de la medición a los 10 años se calculó el peso seco del fuste con corteza (en Kg) utilizando la siguiente ecuación ajustada para la especie en el mismo tipo de suelo:

$\ln P = 5,0609 + 1,0603 \ln (DAP^2H)$, donde DAP es el diámetro del fuste a 1,3 m, en metros y H es la altura total del árbol, en metros (Graciano *et al.*, 2007).

El volumen del fuste individual con corteza (en m³) se calculó mediante la fórmula:

$\ln(vcc) = (-10,17181,76615 \cdot \ln(DAP) + 1,18741 \cdot \ln(H)) \cdot 1,0040878$, con DAP en cm y H en metros (Fassola *et al.*, 2006).

El rendimiento en peso (t/ha) y en volumen (m³/ha) se calculó con la suma de los árboles presentes en cada parcela, referido a hectárea.

Para la presentación de los resultados, los dos métodos de repoblación se analizaron por separado. Para el análisis del DAP, H, peso y volumen del fuste con corteza a los 10 años, se realizó el ANOVA considerando N, P y bloque como factores, y la cantidad de árboles vecinos como covariable. Se incluyó la covariable para considerar el efecto del diferente nivel de competencia debido a la mortandad de individuos, que puede afectar el crecimiento individual. El rendimiento en peso y volumen se analizó considerando N, P y bloque como factores. Las medias se compararon con el test de Duncan, con $p < 0,05$.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien las demandas nutricionales en el inicio de la plantación son elevados, en los primeros años no se observó efecto ninguno de la fertilización, posiblemente porque la descomposición de los restos de la cosecha aportaron los nutrientes necesarios para sostener el crecimiento inicial (Graciano *et al.*, 2008). En la replantación, los efectos de la fertilización comenzaron a observarse luego de 5 años de realizada la fertilización. Se observó marcada interacción entre la dosis de N y de P aplicada. La aplicación de sólo P en la dosis más elevada (N0P2) tuvo efecto nulo en el DAP, mientras que la aplicación de sólo P en la dosis baja (N0P1) fue el tratamiento en que se registró mayor DAP (**Figura 1**). La aplicación de N en ambas dosis sin P (N1P0 y N2P0) aumentó levemente el DAP con respecto a las plantas no fertilizadas, aunque las diferencias no son significativas con respecto al control (N0P0).

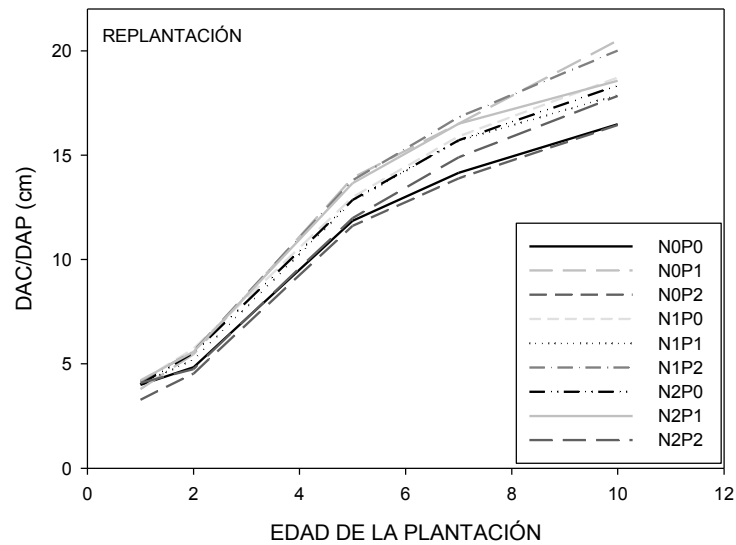


Figura 1. Diámetro al cuello (DAC) en el año 1 y diámetro a 1,3 m (DAP) en los demás años de los *E. grandis* provenientes de replantación y fertilizados en el momento de la plantación con 0 (N0), 60 (N1) y 120 (N2) g de urea en combinación con 0 (P0), 60 (P1) y 120 (P2) g de SFT.

La combinación N1P2 fue la única combinación que igualó la aplicación de la dosis baja de P. La aplicación de la dosis alta de N sin P o con bajo P (N2P0 y N2P1) aumentó la altura con respecto a las plantas no fertilizadas (**Figura 2**).

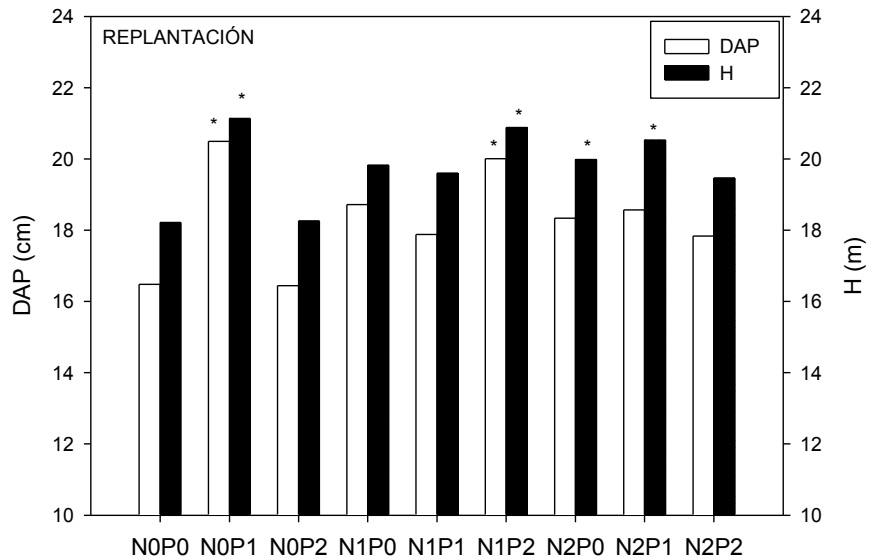


Figura 2. Diámetro del fuste a 1,3 m (DAP) y altura total (H) en la replantación de 10 años. Los asteriscos indican los tratamientos que difieren del control (N0P0) ($p < 0,05$).

Sólo en los tratamientos en que se observó incremento de DAP y H se produjo un aumento del peso del fuste con corteza (**Figura 3**). El peso medio máximo se registró en las plantas fertilizadas sólo con la dosis baja de P (N0P1). Los otros dos tratamientos que aumentaron el peso del fuste fueron la dosis baja de N con alta de P (N1P2) y alta de N con baja de P (N2P1). La combinación de la dosis alta de ambos fertilizantes no tuvo efecto positivo. Resultados similares se obtuvieron en el volumen



del fuste individual, ya que la correlación entre peso del fuste y volumen tiene un coeficiente de correlación 1, $p < 0,001$.

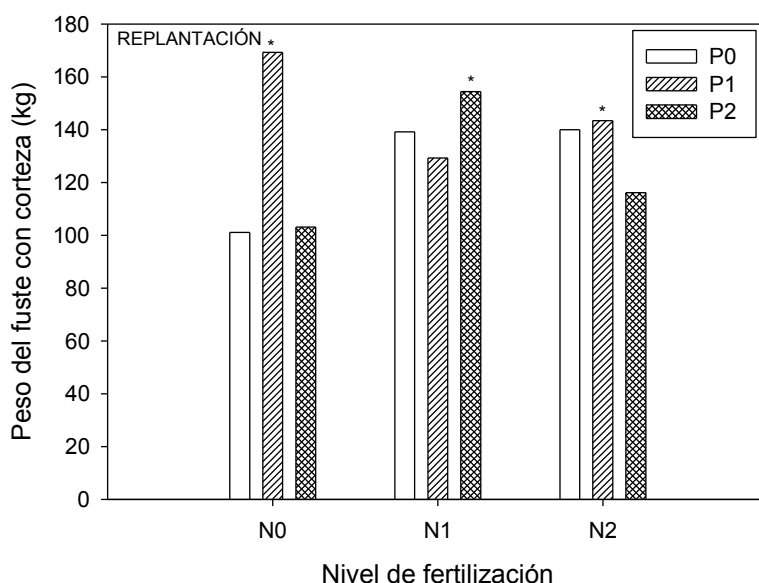


Figura 3. Peso seco del fuste con corteza en la replantación de 10 años. Los asteriscos indican los tratamientos que difieren del control (N0P0) ($p < 0,05$).

Si bien el crecimiento en DAC y DAP fue mayor en las plantas no fertilizadas provenientes de rebrote, la fertilización del rebrote en ninguna dosis ni combinación tuvo un efecto positivo en el DAP y H de los fustes ni durante el ciclo ni al llegar al turno (**Figuras 4 y 5**).

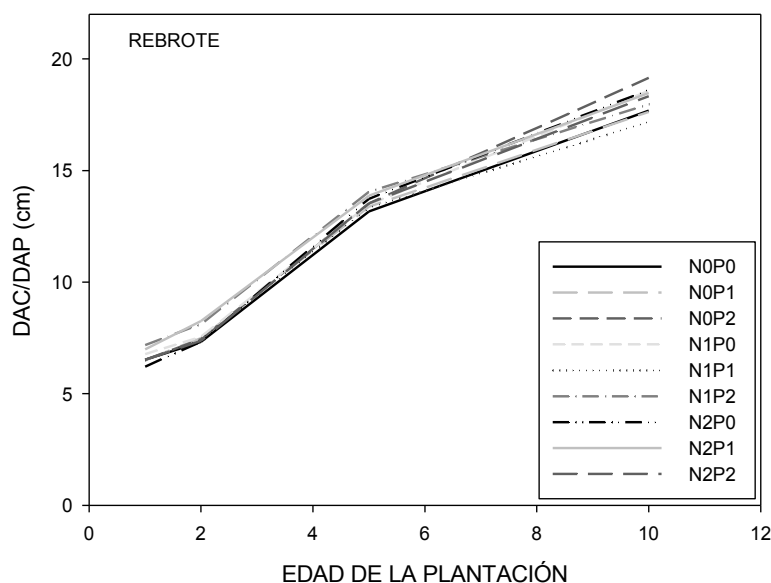


Figura 4. Diámetro al cuello (DAC) en el año 1 y diámetro a 1,3 m (DAP) en los demás años de los *E.grandis* provenientes de rebrote y fertilizados 3 meses luego de producida la cosecha con 0 (N0), 60 (N1) y 120 (N2) g de urea en combinación con 0 (P0), 60 (P1) y 120 (P2) g de SFT.

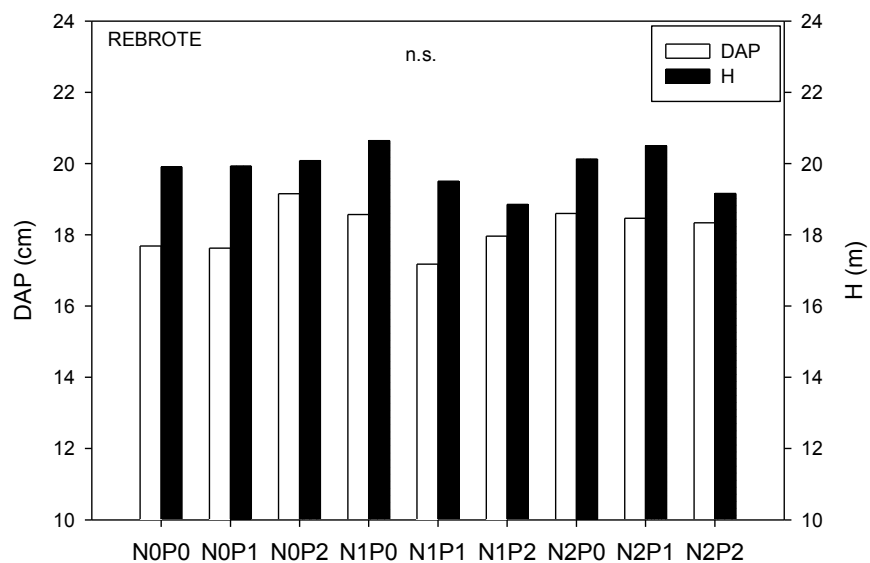


Figura 5. Diámetro del fuste a 1,3 m (DAP) y altura total (H) en el rebrote de 10 años. No hay diferencias significativas de los tratamientos con respecto al control (N0P0) ($p < 0,05$).

Consistentemente con la ausencia de respuesta en DAP y H, la fertilización no tuvo efecto en el peso del fuste en las plantas provenientes de rebrote (**Figura 6**).

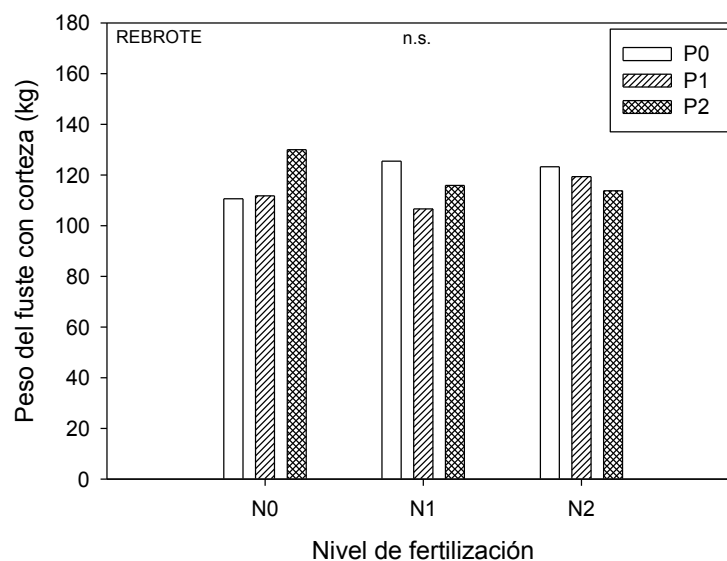


Figura 6. Peso seco del fuste con corteza en el rebrote de 10 años. Los tratamientos no difieren del control (N0P0) ($p < 0,05$).

La ausencia del efecto de la fertilización en el rebrote posiblemente se deba a que el sistema radical de las cepas rebrotadas es más amplio que el de plantas provenientes de semillas, por lo que estas plantas no fertilizadas pueden absorber los nutrientes necesarios. Adicionalmente, las reservas nutricionales contenidas en el tocón y las raíces puede aportar por re-translocación gran parte de los nutrientes necesarios (Cooke y Weih, 2005), tal como lo demuestra la mayor concentración de N y P foliar en plantas provenientes de rebrote con respecto a las provenientes de replantación (Burns *et al.*, 2011). Sin embargo, a pesar de no requerir más nutrientes, las plantas provenientes de rebrote no alcanzaron tamaños similares a las provenientes de replantación fertilizadas. El tratamiento de rebrote



que más creció alcanzó un peso medio de fuste cercano a los 130 kg (Figura 6), mientras que el mejor tratamiento de la replantación superó los 170 kg (Figura 3). Por lo tanto, posiblemente existen factores no nutricionales que limitan el crecimiento de los rebrotes, tal vez relacionados al envejecimiento de la cepa.

Cuando se analiza el rendimiento, se integra el crecimiento individual y la densidad poblacional. En el caso de la replantación parte de los efectos positivos observados a nivel de árbol se pierden al analizar el rendimiento por superficie. Sin embargo, la tendencia en la respuesta se mantiene tanto al evaluar el rendimiento en peso (**Figura 7**) como en volumen (**Figura 8**).

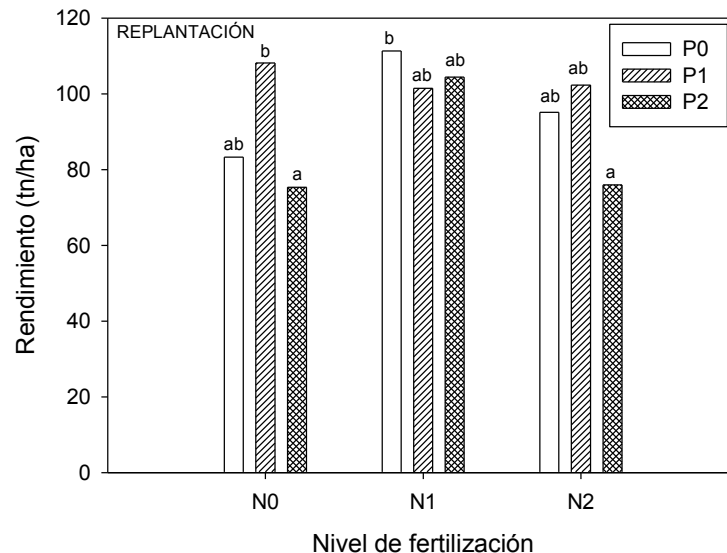


Figura 7. Rendimiento en peso de fustes con corteza a los 10 años de la replantación de *E.grandis* fertilizada. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (Duncan, $p<0,05$).

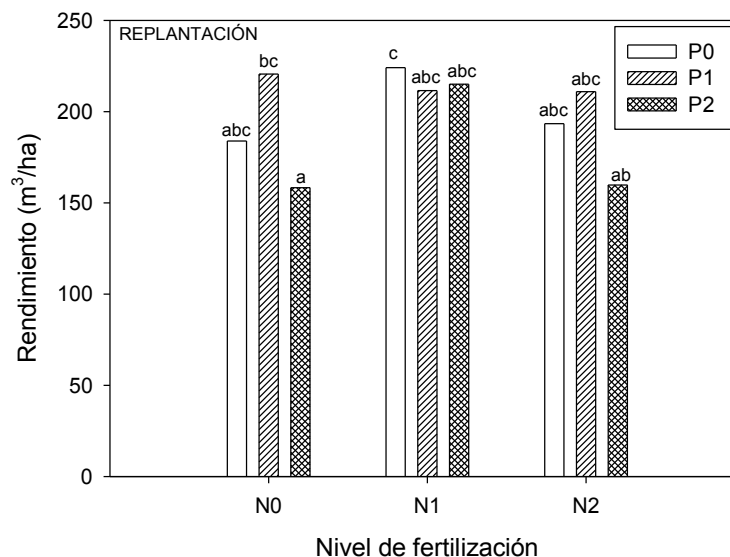


Figura 8. Rendimiento en volumen de fuste con corteza a los 10 años de la replantación de *E.grandis* fertilizada. Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tratamientos (Duncan, $p<0,05$).

El hecho de que parte de las diferencias encontradas a nivel individual se pierdan al analizar el rendimiento indica que podría mejorarse el rendimiento aumentando la densidad de individuos que lleguen al turno. La mortandad de individuos fue despareja entre tratamientos. Sin embargo, como el



efecto de ciertas dosis de fertilización en el DAP, la H y el peso y volumen del fuste de los individuos fue positivo independientemente de la presencia de vecinos, es esperable que la aplicación de estas dosis de fertilizantes aumenten el crecimiento aún en árboles sometidos a alta competencia. Es decir, que si disminuyera la mortalidad, sería esperable igual efecto de la fertilización a nivel individual y mayor rendimiento como consecuencia de la mayor cantidad de individuos.

Finalmente, la fertilización no aumentó el rendimiento de las parcelas con rebrote (**Figuras 9 y 10**). A pesar de que en plantas no fertilizadas, el crecimiento individual de las plantas provenientes de rebrote (Figura 6) fue mayor que las replantadas (Figura 3), el rendimiento fue menor. Este resultado se relaciona a la menor cantidad de árboles presentes en las parcelas en las que se manejó el rebrote.

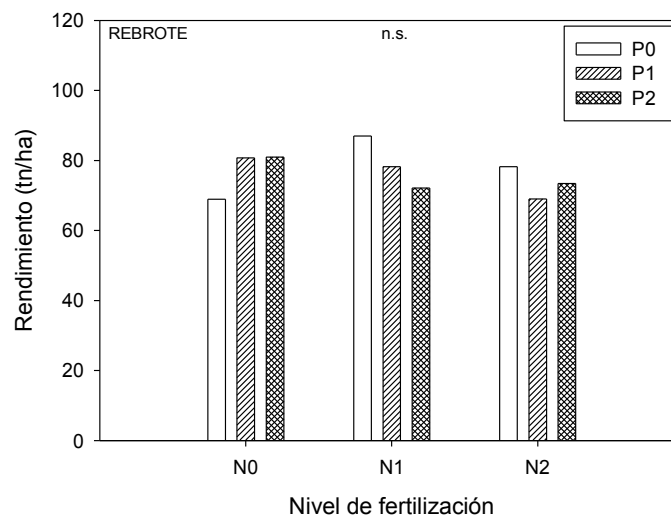


Figura 9. Rendimiento en peso de fustes con corteza a los 10 años del rebrote de *E. grandis* fertilizado. No hay diferencias significativas entre tratamientos (Duncan, $p < 0,05$).

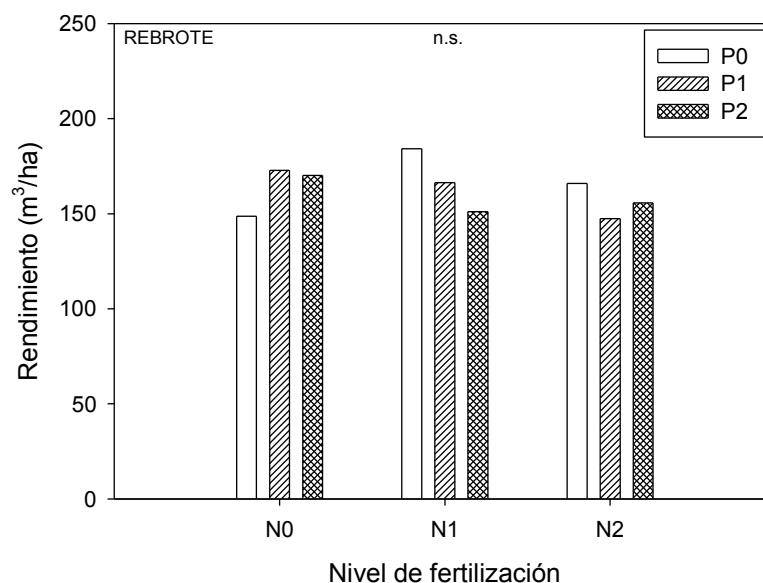


Figura 10. Rendimiento en volumen de fuste con corteza a los 10 años del rebrote de *E. grandis* fertilizado. No hay diferencias significativas entre tratamientos (Duncan, $p < 0,05$).

El manejo del rebrote tiene la ventaja que permite un establecimiento más rápido de la nueva



plantación y las plantas son más resistentes a estreses bióticos y abióticos porque tienen un sistema radical más desarrollado y más reservas de nutrientes y foto-asimilados para sostener el nuevo crecimiento (Forrester *et al.*, 2003). La decisión de manejar el rebrote o reemplazar por nuevas plantas se basa en muchos factores, entre ellos la posible ganancia en crecimiento si se reemplaza por material genético mejorado y la mortalidad de cepas preexistentes (Proe *et al.*, 2002). Evidentemente, las cepas analizadas en este ensayo no presentaron limitaciones al crecimiento debido al N o al P, pero su crecimiento fue limitado por otros factores, y la baja densidad de individuos no pudo ser compensada por mayor crecimiento de los individuos remanentes.

3. CONCLUSIONES

- El efecto de la fertilización de arranque puede manifestarse recién a mediados del turno, si el sitio cuenta con residuos de cosechas previas que brinden a las plantas los nutrientes necesarios en los primeros años de vida. La existencia de restos de cosecha puede contribuir a que los nutrientes aplicados con la fertilización sean retenidos en el sistema, y no se pierdan por lixiviación o volatilización. En este sistema de manejo, sería interesante evaluar la fertilización a mitad de turno.
- La fertilización con N y P puede incrementar el crecimiento de *E.grandis* proveniente de replantación. Sin embargo, la interacción entre ambos nutrientes es compleja, y algunas dosis pueden tener efecto nulo. A pesar de que el suelo posee baja concentración de N, la aplicación de una dosis moderada de P (60 g de SFT) sin aplicación de N tiene el mayor efecto positivo en crecimiento y rendimiento.
- En el caso de parcelas no fertilizadas, el crecimiento individual es mayor en plantas provenientes de rebrote que de replantación. Sin embargo, el rendimiento es menor por el menor número de plantas por unidad de superficie.
- La fertilización del rebrote no tiene efecto positivo ni en el crecimiento individual ni en el rendimiento. Por lo tanto, existen factores no nutricionales que limitan el crecimiento de las plantas provenientes de rebrote.

3. AGRADECIMIENTOS

A la empresa BeyGa S.A. que nos permitió instalar el ensayo en su establecimiento Estancia Humaitá y cuidó de él durante los 10 años. A los alumnos de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de La Plata que colaboraron con las mediciones. A los proyectos PICT 2000: 008-10061 y de Incentivos 08/A145 y 11/A 184.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Achinelli F, Baridón E, Coleman M, Francisco M, Aparicio A, Marlats R (2003) Estado nutricional y respuesta a la fertilización localizada en *Populus*. XII Congr. For. Mund. Quebec, Canada, pp 0386–B4
- Barros NF, Novais RF (1996) Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: Attiwill PM, Adams MA (eds) Nutr. Eucalypts. CSIRO Publishing, Collingwood, pp 335–355
- Burns SL, Pérez C a., Arturi MF, Goya JF, Graciano C (2011) Relationship Between Height Growth and Foliar Nutrient N and P Concentration in a *Eucalyptus grandis* Plantation in Northeastern Argentina. J Sustain For 30:313–320. doi: 10.1080/10549811.2011.532018
- Carpineti LA, Tea FD, Glade J, Marcó M (1995) Manual para productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina
- Cooke JEK, Weih M (2005) Nitrogen storage and seasonal nitrogen cycling in *Populus*: Bridging molecular physiology and ecophysiology. New Phytol 167:19–30. doi: 10.1111/j.1469-8137.2005.01451.x
- Dalla Tea F, Marcó MA (1996) Fertilizers and eucalypt plantations in Argentina. In: Attiwill PM, Adams MA (eds) Nutr. Eucalypts. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, pp 327–333



- Dighton J, Jones HE, Poskitt JM (1993) The use of nutrient bioassays to assess the response of *Eucalyptus grandis* to fertilizer application. 1. Interaction between nitrogen, phosphorus and potassium in seedling nutrition. *Can J For Res* 23:1–6.
- Fassola H, Crechi E, Keller A, Barth S, Jorge C (2006) Funciones de volumen total para *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden implantado en el NE de la provincia de Entre Ríos, Argentina. 12as Jornadas Técnicas For. y Ambient. FCF, UNaM, Eldorado, Misiones, Argentina, pp 1–12
- Faustino LI, Bulfe N, Pinazo M, Graciano C (2012) Crecimiento de cuatro familias de *Pinus taeda* en respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo en el establecimiento de la plantación. *Rev la Fac Agron La Plata* 111:54–63.
- Faustino LI, Bulfe NML, Pinazo MA, Goya JF, Martiarena R, Knebel OE, Graciano C (2011) Crecimiento inicial de *Pinus taeda* L. en suelo pedregoso de la provincia de Misiones, en respuesta a la fertilización con P y N. *Rev For Yvyrareta* 18:52–57.
- Faustino LI, Bulfe NML, Pinazo MA, Monteoliva SE, Graciano C (2013) Dry weight partitioning and hydraulic traits in young *Pinus taeda* trees fertilized with nitrogen and phosphorus in a subtropical area. *Tree Physiol* 33:241–251.
- Fernández R, Aspillaga FR, Lupi A, Lopez E, Pezzutti R, Crechi E, Pahr N, Natiuck M, Cortez P (2000a) Respuesta del *Pinus taeda* y la *Araucaria angustifolia* a la adición de N, P y K en la implantación. In: Argentina AF (ed) *Silvoargentina I. Asociación Forestal Argentina, Virasoro*, p 16
- Fernández R, Lupi A, Pahr N, Reis H, O'Lery H, Gelid M (2000b) Efecto de técnicas de establecimiento de bajo impacto para segunda rotación sobre el crecimiento inicial del *Pinus taeda* en el NE de la Argentina. *Av en Ing Agrícola* 249–254.
- Forrester D, Bauhus J, Connell M (2003) Competition in thinned Silvertop Ash (*Eucalyptus sieberi* L. Johnson) stands from early coppice growth. *For Ecol Manage* 174:459–475.
- Goya JF, Frangi JL, Dalla Tea F (1997a) Relación entre biomasa aérea, área foliar y tipos de suelos en plantaciones de *Eucalyptus grandis* del NE de Entre Ríos, Argentina. *Rev la Fac Agron La Plata*, 102:11–21.
- Goya JF, Frangi JL, Tea FD, Larocca F (1997b) Biomasa, productividad y contenido de nutrientes en plantaciones de *E. grandis* en el NE de la provincia de Entre Ríos. XII Jornadas For. Entre Ríos. Concordia, Argentina, pp 1–19
- Goya JF, Perez C, Frangi JL, Fernandez R (2003) Impacto de la cosecha y destino de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. *Ecol Austral* 13:139–150.
- Graciano C, Goya J, Arturi M, Perez C, Frangi J (2008) Fertilization in a Fourth Rotation *Eucalyptus grandis* Plantation with Minimal Management. *J Sustain For* 26:155–169. doi: 10.1080/10549810701879693
- Graciano C, Goya JF, Frangi JL (2007) *Eucalyptus Grandis* Plantations in Argentina in the Context of Sustainable Silviculture; pp. . In: Verne NC (ed) *For. Ecol. Res. Horizons*. Nova Science Publishers, New York, pp 39–76
- Graciano C, Goya JF, Frangi JL, Guiamet JJ (2006) Fertilization with phosphorus increases soil nitrogen absorption in young plants of *Eucalyptus grandis*. *For Ecol Manage* 236:202–210.
- Graciano C, Tambussi EA, Castán E, Guiamet JJ (2009) Dry mass partitioning and nitrogen uptake by *Eucalyptus grandis* plants in response to localized or mixed application of phosphorus. *Plant Soil* 319:175–184.
- Herbert MA (1990) Fertilizer/site interactions on the growth and foliar nutrient levels of *Eucalyptus grandis*. *For Ecol Manage* 30:247–257.
- Judd TS (1996) Simulated nutrient losses due to timber harvesting in highly productive eucalypt forests and plantations. In: Attiwill PM, Adams MA (eds) *Nutr. Eucalypts*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, pp 249–258
- Luy A, Goya JF, Frangi JL (1997) Distribución de la biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distintas edades en la región de Concordia, Entre Ríos (Argentina). II Congr. For. Argentino y Latinoam.
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants, Second edi. Academic Press, Amsterdam



- O'Connell AM, Grove TS, Mendham DS, Rance SJ (2004) Impact of harvest residue management on soil nitrogen dynamics in *Eucalyptus globulus* plantations in south western Australia. *Soil Biol Biochem* 36:39–48.
- Pérez C, Goya JF, Bianchini F, Frangi JL, Fernández R (2006) Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de Misiones, Argentina. *Interciencia* 31:794–801.
- Proe MF, Griffiths JH, J.Craig (2002) Effects of spacing, species and coppicing on leaf area, light interception and photosynthesis in short rotation forestry. *Biomass and Bioenergy* 23:315–326.
- Turner J, Lambert MJ (1996) Nutrient cycling and forest management. In: Attiwill PM, Adams MA (eds) *Nutr. Eucalypts*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, pp 229–248